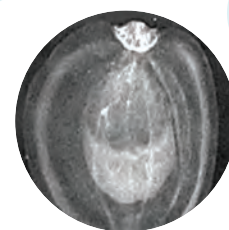


# СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЕМЯН КОРНЕПЛОДНЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР



## MODERN INSTRUMENTAL METHODS TO CONTROL THE SEED QUALITY IN ROOT VEGETABLES

Мусаев Ф.Б.<sup>1</sup> – кандидат с.-х. наук, с.н.с.  
лабораторно-испытательного центра  
Бухаров А.Ф.<sup>2</sup> – доктор с.-х. наук,  
зав. лабораторией семеноведения

Musaev F.B.,<sup>1</sup>  
Bukharov A.F.,<sup>2</sup>  
Kozar E.G.,<sup>1</sup>  
Beletskiy S.L.<sup>3</sup>

Козарь Е.Г.<sup>1</sup> – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник  
Белецкий С.Л.<sup>3</sup> – кандидат технических наук,  
зам. зав. лабораторией

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур» (ФГБНУ ВНИИССОК)  
143080, Россия, Московская обл.,  
Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14  
E-mail: vniissok@mail.ru, musayev@bk.ru, kozar\_eg@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства»  
(ФГБНУ ВНИИО)  
140153, Россия, Московская обл., Раменский район, дер. Верея  
E-mail: vniioh@yandex.ru

<sup>3</sup>ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва  
111033, Россия, г. Москва, Волочаевская ул., д. 40, корп. 1  
E-mail: info@niipkh.rosreserv.ru, grain-miller@yandex.ru

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Research Institution  
All-Russian Scientific Research Institute  
of Vegetable Breeding and Seed Production  
Selectionnaya St. 14, Odintsovo region,  
Moscow oblast, p. VNISSOK, 143080, Russia  
<sup>2</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution,  
All-Russian Research Institute of Vegetable Growing  
Vereya, 500 build., Ramenskiy region,  
Moscow region, 140153, Russia  
<sup>3</sup> Federal State Budgetary Institution,  
Research Institute for Problems  
of Storage of Rosrezerv'  
Volochevskaya St., 40, build. 1,  
Moscow, 111033, Russia  
E-mail: info@niipkh.rosreserv.ru, grain-miller@yandex.ru

Стандартные методы анализа не полностью отвечают современным требованиям определения качества высеваемых семян. Они не учитывают особенности и дефекты внутренней структуры семян, имеющих значение для определения их жизнеспособности. В статье обсуждаются возможности эффективного инструментального метода анализа качества семян корнеплодных овощных культур. Метод микрофокусной рентгенографии семян выгодно отличается от существующих большей информативностью, быстротой и легкостью исполнения. Визуализация внутренней структуры семян позволяет без проращивания определить степень выполненности эндосперма и зародыша, наличие внутренней травмированности, зараженности болезнями, заселенности и поврежденности вредителями и другое, имеющее большое практическое значение. Использование микрофокусной рентгенографии позволяет без проращивания оценить уровень разнокачественности семян по целому ряду признаков, имеющих значение для различных направлений селекции свеклы столовой (раздельноплодность, одностокость, самофертильность и др.). С помощью метода можно выявить степень выполненности и возможность внутренней травмированности и поврежденности семян моркови и пастернака. В рентгеновской проекции семена инбредных линий редиса заметно отличаются от сортовых-популяционных по их недоразвитости внутренней структуре. Преимуществом метода является полная сохранность семян при анализе их качества, что позволяет провести дополнительный анализ другими методами либо использовать их для посева; это особенно важно для селекционеров при работе с малой партией селекционного и коллекционного материала. Результаты рентгенографического анализа можно зафиксировать и заархивировать, что позволяет проследить за качеством семян в динамике (при хранении) и использовать данные при возможных арбитражных делах.

**Ключевые слова:** семена, качество семян, микрофокусная рентгенография, корнеплодные овощные культуры, селекция, семеноводство.

The standard methods of analysis don't meet all modern requirements to determine the seed a quality. These methods can't unveil inner deficiencies that are very important to control seed viability. The capabilities of new instrumental method to analyze the seed quality of root vegetables were regarded in the article. The method of micro-focus radiography is distinguished from other existing methods by more sensitivity, rapidity and easiness to be performed. Based on practical importance the visualization of inner seed structure, it allows determining far before seed germination the degree of endosperm development and embryo; the presence of inner damages and infections, occupation and damage caused by pests. The use of micro-focus radiography enables to detect the degree of seed quality difference for some traits such as monogermity and self-fertilization that are economically valuable for breeding program in red beet. With the aid of the method the level of seed development, damage and inner deficiencies in carrot and parsnip can be revealed. In X-ray projection seeds of inbred lines of radish significantly differed from variety population ones for their underdevelopment in the inner structure. The advantage of the method is that seeds rest undamaged after quality analyzing and both can be used for further examination with the use of other methods or be sown; that is quite important for breeders, when handling with small quantity or collectable plant breeding material. The results radiography analyses can be saved and archived that enables to watch for seed qualities in dynamic; this data can be also used at possible arbitration cases.

**Keywords:** seeds, seed quality, micro-focus radiography, root vegetable, breeding, seed production.

В настоящее время вопрос оценки качества семенного материала с точки зрения его хозяйственной пригодности требует пересмотра существующих и разработки новых методов, соответствующих мировым стандартам качества семян. Очень важны при этом сами критерии качества семян. Стандартные методы анализа не полностью отвечают современным требованиям определения качества высеваемых семян. Заключение по энергии прорастания и всхожести в лабораторных условиях не всегда объективно отражает посевные качества семян и их способность давать полноценные всходы в нерегулируемых полевых условиях. Стандартные методы не учитывают особенности и недостатки внутренней структуры семян, имеющих большое значение для определения их жизнеспособности. Внутренняя травмированность, скрытая заселенность и поврежденность насекомыми, внутреннее прорастание, биологическая выполненность семян практически не определяется и не имеет разработанных стандартов. Современный уровень научных знаний и развития технологий требует применения современных инструментальных методов оценки качества семян, отличающихся большей информативностью, а также быстротой и легкостью исполнения.

Корнеплодные овощные культуры составляют важную группу овощных растений и имеют ряд достоинств: высокая питательная ценность продукции, хорошая их сохраняемость (лежкость), пониженная теплотребовательность, что особенно важно для большинства регионов нашей страны (Буренин В.И., Пивоваров В.Ф., 1998; Литвинов, 2008). Семена данных культур имеют свои особенности по посевным качествам. Так, представители семейства маревые (свекла) образуют многосемянное соплодие, семена сельдерейных (морковь, сельдерей, петрушка, пастернак) содержат большое количество эфирных масел, что затрудняет их прорастание, семена капустных культур (редис) обладают нежной, легко травмируемой и гигрофильной оболочкой (Лудилов, 2005). Следовательно, семена корнеплодных овощных культур требуют повышенного внимания к их качеству.

Использование инструментальных не повреждающих методов позволяет получить больше информации о качестве семенного материала и в более короткие сроки. Среди них особо следует выделить метод рентгенографии, который путем визуализации особенностей внутренней структуры каждого семени позволяет дать наиболее полную характеристику состояния и качества различных партий семян овощных культур.

В совместной работе сотрудников Агрофизического НИИ (АФИ), Санкт-Петербургского электротехнического университета (СПбГЭТУ) и ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК) проводятся масштабные исследования по рентгенографии семян овощных культур. В данной работе обсуждаются возможности использования этого метода для изучения морфологических особенностей и оценки посевных качеств семян основных видов корнеплодных культур.

## Материал и методы

Работа проведена в лаборатории экологических методов селекции ВНИИССОК и кафедре электронных приборов и устройств С.-Пб. ГЭТУ. Исследованы семена 20 образцов свеклы столовой, моркови столовой, пастернака и редиса. Фотосъемку внешнего вида семян, проростков и растений проводили в фотолаборатории ВНИИССОК на профессиональном фотоаппарате CANON-5D с макрообъективом CANON-100 с разрешением 12-24 мегапикселей.

Рентгеновскую съемку семян проводили на установках ПРДУ-02 и РМ-1 путем прямого рентгеновского увеличения. Полученный скрытый образ на пластине переводили в цифровой вид в специальных сканерах «DIGORA» и «FCR». Полученные рентгеновские изображения передавали на экран компьютера и анализировали визуально оператором.

Анализ внутренней структуры семян различных видов овощных культур проведен согласно «Методике рентгенографии в земледелии и растениеводстве» (Архипов и др., 2001) и «Рентгенографический анализ качества семян овощных культур» (Мусаев и др., 2015). Проращивание семян проводили

по ГОСТ 12038-84; ГОСТ 12036-85 в лабораторных условиях и кассетным способом в защищенном грунте.

## Результаты и обсуждение

В связи с тем, что семена многих корнеплодных культур заключены в плотный перикарп (околоплодник) или имеют темнопигментированную оболочку, не всегда представляется возможным определить качество семенного материала без проращивания. В то же время, не всегда позволительно тратить семена для лабораторного анализа их качества. Это особенно важно для селекционеров и при первичном семеноводстве. Для выявления внутренних недостатков и дефектов семян при полном их сохранении наиболее пригодным оказался метод микрофокусной рентгенографии.

**Свекла столовая.** Важнейшей культурой диетического питания является свекла столовая. Посевной материал свеклы состоит из так называемых клубочков, которые содержат 1-6 плодов и дают несколько проростков из одного семени (рис. 1). Встречаются растения, имеющие на соцветии отдельно сидящие цветки, – это раздельноплодные формы. Но даже такие формы еще не гарантируют однородные всходы (Федорова, Буренин и др., 2010). Это называется полиэмбриония.

Метод рентгенографии позволяет четко определить степень плодности различных образцов свеклы столовой (рис. 2), а также выявить количество жизнеспособных семян в каждом соплодии (рис.3).

На рисунке 3 представлены рентгеновские проекции одно-, двух- и трехсемянных клубочков свеклы столовой из разных сортообразцов, где можно просмотреть внутреннее строение семян, степень их выполненности. Дальнейшее проращивание показало четкую взаимосвязь выявленных недостатков внутренней структуры семян с их жизнеспособностью. Это имеет особое значение при создании инбредных линий свеклы столовой, так как позволяет без проращивания провести сравнительную оценку структуры и качества полученного семенного потомства, в зависимости происхождения и условий выращивания.

Рентгенограммы инбредных семян



(рис.4) заметно отличаются от «популяционных» (рис.2). Площадь теней околоплодника у них менее выражены, большинство семян имеют общее сильное потемнение проекции, что свидетельствует о пониженной жизнеспособности или на отсутствие таковой. Как видно на представленных фрагментах (рис.4), наиболее высокой жизнеспособностью семян отличались инбредных потомств №№ 4, 6, 13 и 14. С точки зрения поиска односемянных форм интерес представляют потомства №№ 2, 5 и 12; склонных к одностокости – №№ 4,6,11.

То есть, помимо прогноза всхожести отдельных партий семян, использование микрофокусной рентгенографии позволяет без проращивания оценить уровень разнокачественности семян по целому ряду признаков, имеющих важное значение для различных направлений селекции свеклы столовой (раздельноплодность, одностокость, самофертильность и др.).

**Морковь** – широко распространенная корнеплодная овощная культура. Занимает особое место в диетическом питании как источник каротина (провитамин А), сахаров, аминокислот.

Семена «зонтичных» культур, в том числе моркови, отличаются разнокачественностью вызванной неравномерностью их питания и вызревания, что в свою очередь, связано со структурой семенного растения и соцветий. Кроме того, высокий уровень механизации семеноводства связан с травмированием семян. Определены основные рентгеновские признаки семян моркови (Мусаев и др., 2012). К признакам, характеризующим уровень жизнеспособности семян моркови по рентгеновским проекциям, следует отнести следующие (рис. 5):

а) норма – семена выполненные, изображение светлое, без затемнений, вкраплений, просматриваются сосудисто-волокнистые пучки;

б) невыполненное – проекция семени затемненная, просматриваются только жилки от семенных ребер, семя имеет нетипичную, вытянутую форму;

в, г) травмированное – выбитый корешок зародыша, семена приобретают более овальную форму; трещины, темные линии с четкими границами;

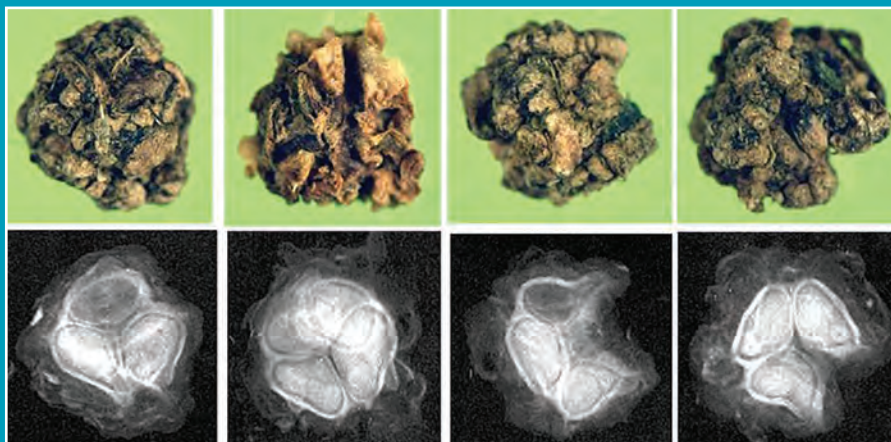


Рис. 1. Посевной материал свеклы (клубочки): в видимом свете и рентгеновских лучах.

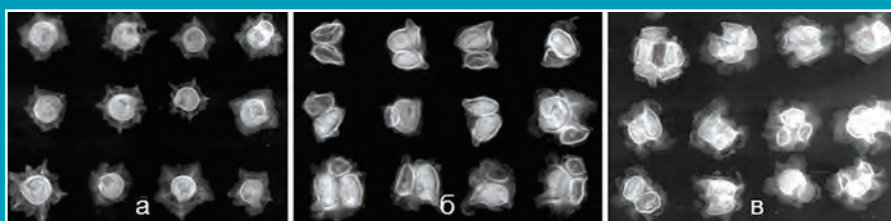


Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм семян свеклы столовой: а – раздельноплодных; б, в – многоплодных.

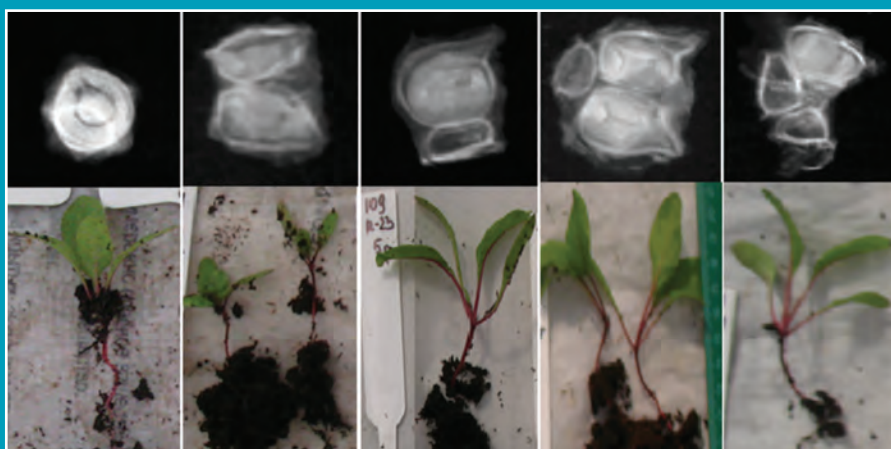


Рис. 3. Рентгеновские признаки семян свеклы столовой в связи с их жизнеспособностью.

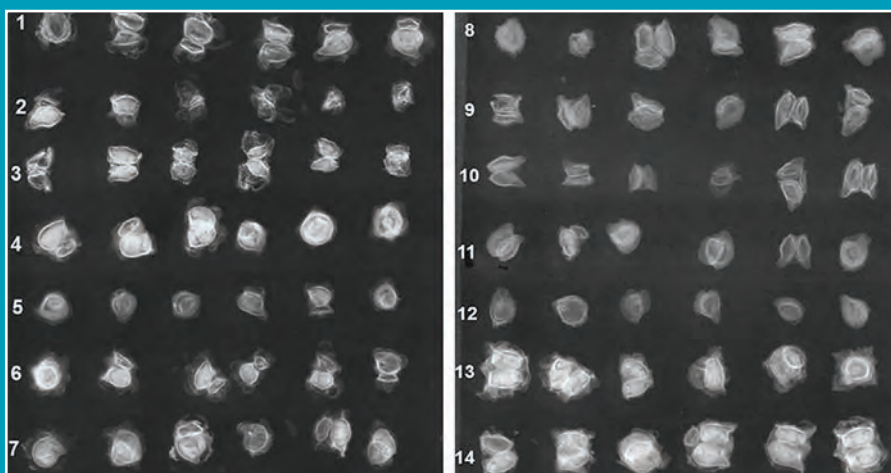


Рис. 4. Фрагменты рентгенограмм семян инбредных потомств (1-14) свеклы столовой



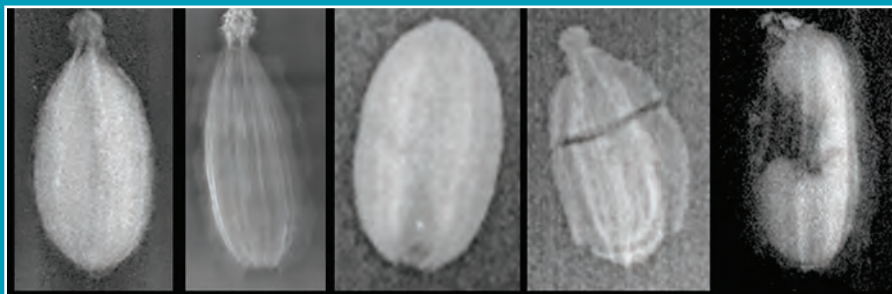


Рис. 5. Рентгенограмма разнокачественных семян моркови столовой: а – полноценное; б – недоразвитое; в, г – поврежденные насекомыми.



Рис. 6. Фрагменты рентгенограммы и фотографии семян пастернака, пораженных *Graphosoma lineatum* L.

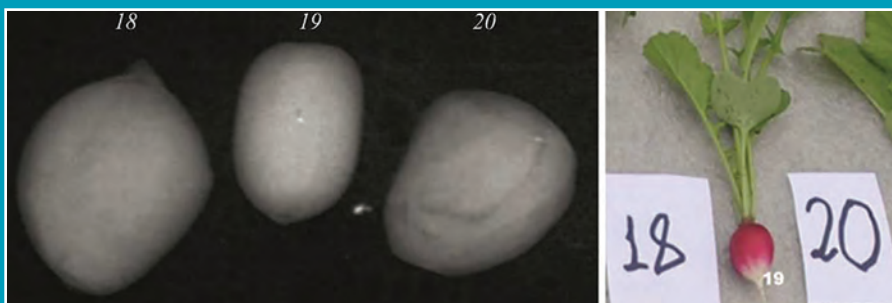


Рис. 7. Рентгенограмма семян редиса различной плотности внутренней структуры и фотография корнеплодов.

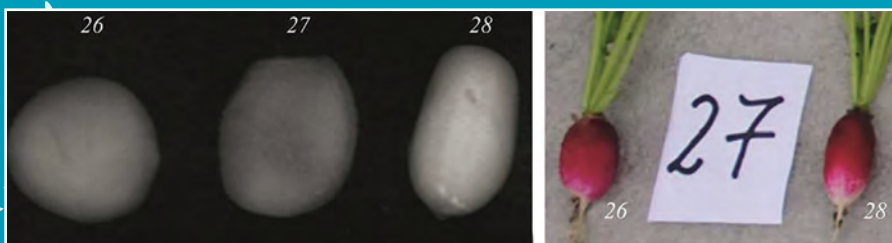


Рис. 8. Рентгенограмма семян редиса с нерегулярными затемнениями и фотография корнеплодов.

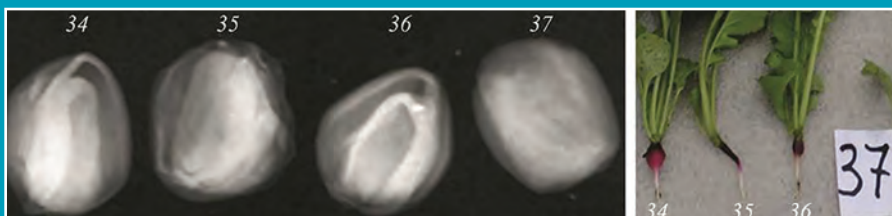


Рис. 9. Рентгеновские проекции семян инбредных линий редиса и фотография несформированных корнеплодов.

д) поврежденное насекомыми – темные «продырявленные» пятна неправильной формы.

**Пастернак.** Еще более наглядно на рентгенограммах видна разнокачественность семян пастернака, у которого визуально достаточно трудно определить качество семенного материала (Федорова, Козарь и др., 2013). Одной из причин такой разнокачественности семян является, например, поражение семенных растений пастернака на стадии цветения или завязывания плодов вредителем-клопом-полосатым щитником (*Graphosoma lineatum* L.) (Балеев, Бухаров, 2015).

В зависимости от степени поражения эндосперм у семян либо совсем не сформировался (рис. 6, семена №5), либо выполнен наполовину (рис. 6, семена №1). В основном последствия «работы» вредителя проявляются в невыполненности семян в разной степени, рыхлая «продырявленная» структура эндосперма на рентгенограммах представлена в виде темных, нечетких «размытых» пятен (рис. 5, семена № 2), семена № 3 и 4 остались «нетронутыми» и по рентгеновской проекции выделяется светлым овалом без темных пятен и вкраплений.

Примечательно, что рассматриваемый недостаток семян внешне вовсе не определяется (рис. 6). В данной ситуации рентгенографический анализ семян практически незаменим (Бухаров и др., 2015).

**Редис.** Информативность рентгеновских признаков у семян редиса посевного относительно. Как и у других культур, общее сильное потемнение проекции указывает на низкую жизнеспособность семени или чаще на отсутствие таковой (рис. 7, 8).

Несмотря на то что проекции семян № 18 и 20 более крупные, они при этом имеют и большую оптическую плотность, что говорит о рыхлости ткани. Они также имеют дополнительно нерегулярные (№ 18) или регулярные (№ 20), но четко выраженные тени. Эти семена не дали всходов (рис. 7). Хорошо выраженное нерегулярное затемнение у семени № 27 – свидетельство его нежизнеспособности (рис. 8).

Семена инбредной линии редиса заметно отличаются от «популяцион-



ных». Площадь теней проекций велика (№ 34,35,36), проекции имеют угловатую форму, семена имеют слабую жизнеспособность, поскольку значительная часть материала тканей утрачена. Получены поздние, слабые всходы, не сформировавшие корнеплоды (недогоны) (рис. 9).

Нужно отметить, что семена капустных культур, в том числе и редиса, обладают округлой формой, что определяет случайность позиции семени при съемке, в противоположность семенам уплотненным, автоматически снимаемым всегда в одной позиции (Мусаев и др., 2016). При положительном решении данного вопроса информативность метода могла бы возрасти.

### Заключение

Для оценки качества семян корнеплодных овощных культур предлагается использовать новый инструментальный метод микрофокусной рентгенографии, отличающийся высокой информативностью, быстротой и легкостью исполнения. Метод позволяет определить не только степень жизнеспособности семян, а также причины её снижения по рентгенографическим признакам – выполненность, травмированность, заселенность и поврежденность вредителями и др., что имеет большое практическое значение при семеноводстве.

Рентгенографический анализ имеет особо важное значение при изучении семян (соплодий) свеклы, обеспечивая

получение информации о многоплодности, многоростковости, полиэмбрионии, наличия живых и мертвых семяпочек и т.п.

Важным преимуществом метода является полная сохранность семян при анализе их качества, что позволяет провести дополнительные исследования либо использовать их для посева. Последнее особенно важно для селекционеров при работе с малой партией селекционного и коллекционного материала.

Результаты рентгенографического анализа можно зафиксировать и заархивировать, что позволит: а) проследить за качеством семян в динамике (при хранении), б) использовать данные в процессе арбитражных судов.



### Литература

1. Архипов М. В., Алексеева Д.И., Батыгин Н.Ф. и др. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве. М:РАСХН, 2001. – 93 с.
2. Буренин В.И., Пивоваров В.Ф. Свекла. СПб.: ВИР, 1998. – 215 с.
3. Балеев Д.Н., Бухаров А.Ф. Полосатый щитник – причина дегенерации семян овощных зонтичных культур Защита и карантин растений. 2015. № 8. С. 26-29.
4. Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Мусаев Ф.Б. Мягколучевая рентгеноскопия – эффективный способ выявления пустосемянности овощных зонтичных культур. Пермский аграрный вестник. Пермь, 2015. – №1. – С. 6-11.
5. Лудилов В.А. Семеноведение овощных и бахчевых культур. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 391 с.
6. Мусаев Ф.Б., Антошкина М.С., Архипов М.В. и др. Методические

- указания по рентгенографическому анализу качества семян овощных культур. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 39 с.
7. Мусаев Ф.Б., Прозорова О.А., Архипов М.В., Великанов Л.П., Потрахов Е.Н., Бессонов В.Б. Рентгенографический анализ качества семян овощных культур. Овощи России. 2012. – № 4 (17). – С. 43-47.
8. Мусаев Ф. Б., Потрахов Н. Н., Архипов М. В. Рентгенография семян овощных культур. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 207 с.
9. Федорова М.И., Буренин В.И. Биология, генетика и селекция столовой свеклы / В кн.: Энциклопедия рода Beta: Биология, генетика и селекция свеклы. – Новосибирск. – 2010. – С. 588-597.
10. Федорова М.И., Козарь Е.Г., Степанов В.А., Балашова И.Т., Голубкина Н.А., Беспалько А.В. Методические рекомендации: жизнеспособность и повышение посевных качеств семян пастернака *Pastinaca sativa* L. – М.: ВНИИССОК. – 2013. – 44 с.